

УДК 621.391

Недашковский А.Л., к.т.н.

КОНЦЕПЦІЯ METRO ETHERNET: МОДЕЛІ, АТРИБУТИ, ТЕХНОЛОГІЇ

Nedashkivskiy O.L. Metro Ethernet concept: models, attributes, technologies. The classification of Ethernet networks is given. A significant difference of large city scale Ethernet networks (Metro Ethernet) from Ethernet networks of carrier class (Carrier Ethernet) is shown. The requirements for the description of services and interfaces of Carrier Metro Ethernet networks are defined.

Description of Carrier Metro Ethernet networks is possible based on the model of Ethernet services. Services are described by a set of attributes, each of which is characterized by a set of parameters that can be determined numerically. This allows you to formulate a set of requirements for the data transmission channel in a form that does not depend on either the particular service or the transport environment in which the channel for its transmission is organized. By combining existing technologies it is possible to build reliable, scalable, and secure Ethernet Carrier-class networks with quality of service parameters like in circuit-switched networks.

Technologies and methods for building multi-service networks based on Carrier Metro Ethernet are shown. Methods and mechanisms to support different classes of services, VLAN address space extensions, Q-in-Q and MAC-in-MAC encapsulation for traffic isolation and enhance network security are presented.

Keywords: Metro Ethernet, Carrier Ethernet, multiservice network, virtual network, service attribute, class of services, Q-in-Q encapsulation, MAC-in-MAC

Недашківський О.Л. Концепція Metro Ethernet: моделі, атрибути, технології. Наведено класифікацію Ethernet мереж. Показано істотну відмінність Ethernet мереж масштабом з велике місто (MetroEthernet) від Ethernet мереж операторського класу (CarrierEthernet). Визначено вимоги до опису послуг і інтерфейсів Carrier Metro Ethernet мереж. Показані технології та способи побудови мультисервісних мереж на базі Carrier Metro Ethernet. Наведено способи і механізми підтримки різних класів обслуговування, розширення адресного простору VLAN, інкапсуляції Q-in-Q і MAC-in-MAC для ізоляції трафіку і підвищення мережевої безпеки.

Ключові слова: Metro Ethernet, Carrier Ethernet, мультисервісна мережа, віртуальна мережа, атрибут послуги, клас трафіку, інкапсуляція Q-in-Q, MAC-in-MAC

Недашковский А.Л. Концепция Metro Ethernet: модели, атрибуты, технологии. Приведена классификация Ethernet сетей. Показано существенное отличие Ethernet сетей масштабом с большой город (MetroEthernet) от Ethernet сетей операторского класса (Carrier Ethernet). Определены требования к описанию услуг и интерфейсов Carrier Metro Ethernet сетей. Показаны технологии и способы построения мультисервисных сетей на базе Carrier Metro Ethernet. Приведены способы и механизмы поддержки разных классов обслуживания, расширения адресного пространства VLAN, инкапсуляции Q-in-Q и MAC-in-MAC для изоляции трафика и повышения сетевой безопасности.

Ключевые слова: Metro Ethernet, Carrier Ethernet, мультисервисная сеть, виртуальная сеть, атрибут услуги, класс трафика, инкапсуляция Q-in-Q, MAC-in-MAC

Вступ

З'ясуємо, що мається на увазі під терміном MetroEthernet [1]. Строго кажучи, це Ethernet-мережа масштабу міста. Тобто це визначення впливає з розмірів території, яка охоплена мережею. Але часто цим же терміном позначають комерційну телекомунікаційну мережу, абоненти якої підключаються до неї через Ethernet-інтерфейси. У західній літературі вона частіше називається Carrier Ethernet – тобто Ethernet мережа операторського класу [2, 3].

Carrier Metro Ethernet істотно відрізняється від локальних мереж на базі Ethernet і за масштабами, і за середовищем передачі, і по реалізованим завданням і додаткам. Практично їх об'єднує тільки те, що кінцеві користувачі підключаються до мережі через Ethernet-інтерфейс, а дані по мережах передаються в форматі Ethernet-кадрів. Але в разі локальної мережі ці кадри передаються в рамках мережі Ethernet, як правило, з негарантованих якістю, а в разі мережі Carrier Metro Ethernet Ethernet-кадри можуть передаватися через різні

транспортні середовища (не обов'язково Ethernet), інкапсулюючись в «локальні» транспортні пакети, але якість їх передачі повинна відповідати заявленим. Мережі Carrier Metro Ethernet використовуються для надання комерційних послуг, і вони повинні бути конкурентні за якістю з тими ж послугами в альтернативних мережах.

1. Модель Carrier Metro Ethernet мережі

Способи забезпечення якості послуг в різних транспортних середовищах на шляху пакета можуть сильно відрізнятися, але характеристики якості повинні бути єдиними. Тобто вони повинні описуватися єдиним набором параметрів, для кожного з яких повинен бути визначений спосіб їх оцінки. Виходячи з цих міркувань, з'явилася ідея опису мереж Carrier Metro Ethernet за допомогою моделі Ethernet-послуг. Послуги описуються набором атрибутів, кожен з яких, в свою чергу, характеризується набором параметрів, які можна визначити чисельно. Це дозволяє сформулювати набір вимог до каналу передачі даних, в формі, не залежною як від конкретного сервісу, так і від транспортного середовища, в якому організований канал її передачі. В кожній мережі ці вимоги повинні бути реалізовані за допомогою механізмів конкретної транспортної технології. Стандартизована модель була розроблена на форумі MEF (Metro Ethernet Forum), в завдання якого входить розробка всіх специфікацій, що забезпечують працездатність і сумісність мереж Carrier Metro Ethernet. Викладемо основні положення цієї моделі. Вона дає уявлення про спектр завдань, які доводиться вирішувати при експлуатації мережі Carrier Metro Ethernet, і про механізми, які використовуються для їх вирішення.

В рамках моделі вводяться наступні поняття:

- MetroEthernetNetwork (MEN) - мережа MetroEthernet, за допомогою якої надаються послуги;
- Equipment (CE) - абонентське обладнання, оснащене UNI;
- User-Network Interface (UNI) - стандартний Ethernet-інтерфейс (10 Мбіт/с, 10 Гбіт/с [4] та інші) між користувачем і мережею, у одного користувача може бути кілька UNI;
- Ethernet Virtual Connection (EVC) – віртуальне Ethernet-з'єднання, що з'єднує два і більше UNI для передачі між ними кадрів Ethernet. Воно в цілях конфіденційності та безпеки запобігає пересилання цих кадрів іншим UNI. Зміст Ethernet-кадру і MAC-адреси в заголовках в процесі передачі залишаються незмінними.

Віртуальні з'єднання ділять на два типи: Point-to-Point («точка-точка») і Multipoint-to-Multipoint («багатоточка-багатоточка»).

Аналогічно вводиться два види послуг:

- Ethernet Line Service (E-Line) - послуга, що означає з'єднання «точка-точка» (рис. 1);
- Ethernet Lan (E-LAN) - послуга, що означає з'єднання «багатоточка-багатоточка» (рис. 2).

2. Атрибути

Опис будь-якої послуги в рамках цієї моделі спирається на атрибути послуги.

Перший атрибут - Ethernet-інтерфейс UNI. Він характеризується такими параметрами як фізичне середовище (10 Base-T, 100 Base-T, 1000 Base-SX, тощо), швидкість передачі (10-10000 Мбіт/с та інші), режим (дуплексний, напівдуплексний) і MAC-протокол (можливі варіанти визначені в IEEE 802.3-2015).

Другий атрибут - транспортна смуга передачі. Цей атрибут може описувати призначений для користувача інтерфейс, віртуальне з'єднання або характеризувати послугу з певним класом обслуговування.

Форум також визначає різні можливості задавання смуги каналу. Вона може задаватися до цілого інтерфейсу UNI, до віртуального з'єднання EVC або до абонентського VLAN. Ці варіанти ілюструються на рис. 3.

Цей атрибут (транспортна смуга) описується 4-ма видами параметрів:

- CIR (Committed Information Rate) - середня швидкість, на якій кадри Ethernet, що

відносяться до послуги, передаються з гарантованими параметрами якості обслуговування (затримка, втрати і т.д.);

- CBR (Committed Birst Rate) - максимальний розмір кадру, сумісний з CIR;
- EIR (Excess Information Rate) - середня швидкість, на якій послуга може надаватися без гарантованого дотримання параметрів якості обслуговування;
- EBR (Excess Birst Rate) - максимальний розмір кадру, сумісний з CBR.

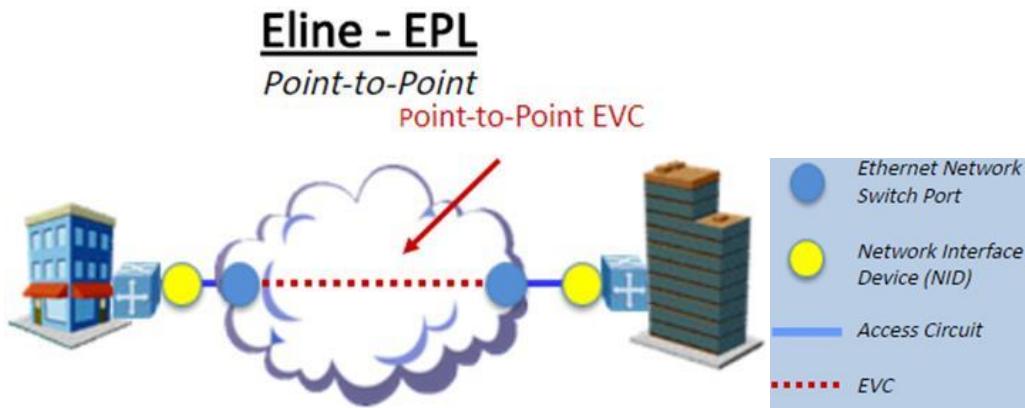


Рис. 1. Послуга типу E-Line («точка-точка»)

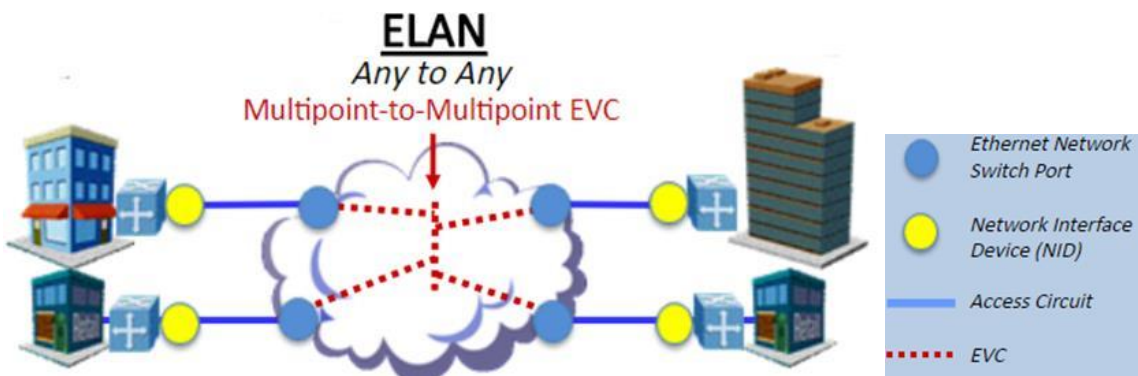


Рис. 2. Послуга типу E-LAN («багатоточка-багатоточка»)

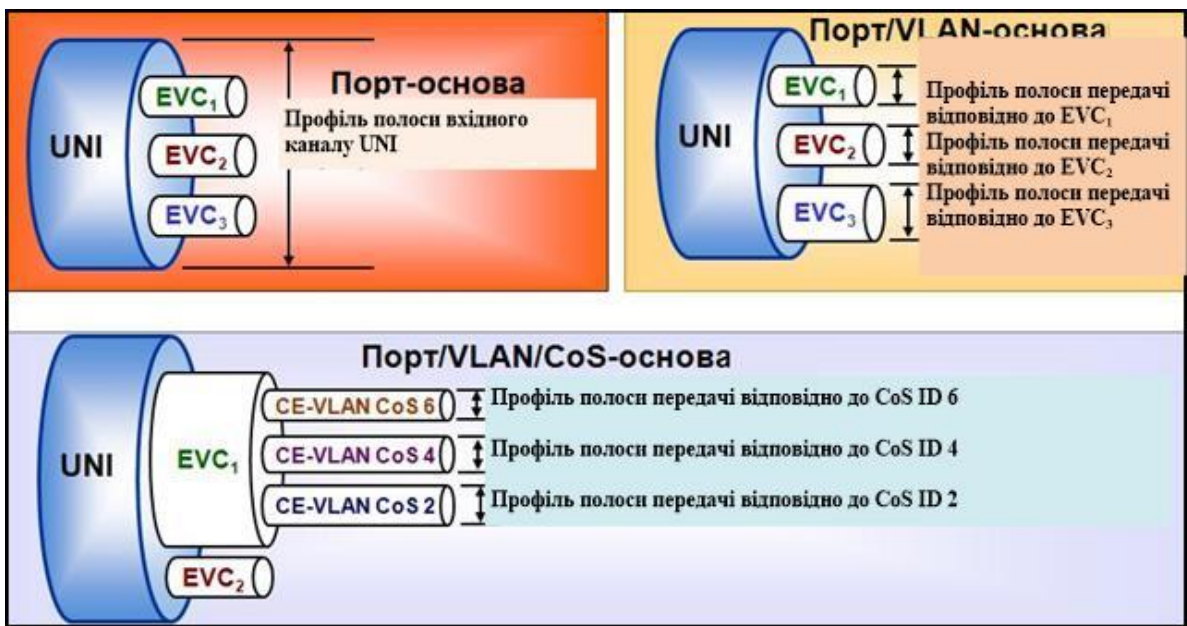


Рис. 3. Способи профілювання транспортної смуги передачі

Передача потоків, середня швидкість яких вище EIR, або кадрів, за розміром більших за EBR не гарантується.

Для спрощення оцінки швидкісних параметрів передачі послуги MEF ввів кольорову ідентифікацію кадрів. Кадр, сумісний з CIR і CBR, позначається зеленим кольором, сумісний тільки EIR і EBR - жовтим, а несумісний ні з CIR, ні з EIR - червоним.

Третій атрибут - якість передачі. До параметрів якості відносяться:

- доступність послуги;
- затримка кадрів;
- джиттер (тремтіння) кадрів, тобто коливання часу приходу кадрів навколо середнього значення;
- втрати кадрів.

Четвертий атрибут - клас обслуговування. Форум включив в рамки своєї концепції основні існуючі механізми реалізації класів обслуговування. Класи можуть характеризуватися різними наборами параметрів якості передачі - швидкісними характеристиками, затримкою, джиттером, втратами, пріоритетом. Належність послуги до якогось класу визначає набір і значення параметрів якості, які слід дотримуватися при її організації.

3. Технології

Класи обслуговування. MEF виділяє чотири способи завдання класу обслуговування. Найпростіший з них працює на першому рівні моделі OSI - фізичному порті. Тобто трафік, що приходить на порт і йде з нього, підпорядковується параметрам одного класу обслуговування. Це найпростіша форма призначення класу. Послуги, що відносяться до різних класів, в цьому випадку вимагають різних фізичних портів, що досить затратно для абонентів.

Другий спосіб працює на другому рівні OSI. Він передбачає призначення класу обслуговування за допомогою відповідного ідентифікатора в заголовку VLAN [5]. Нагадаємо, що тег (заголовок) VLAN включає ідентифікатор VLAN і інформацію про клас обслуговування, формат якої визначено стандартом IEEE 802.1p. Три біта, відведені для цієї мети, дозволяють позначити вісім класів обслуговування. Сенс цих класів може бути різним [6, 7]. Вони можуть просто позначати відносні пріоритети ретрансляції мережевими пристроями. Наприклад, кадри VLAN сьомого класу повинні оброблятися з більш високим пріоритетом, ніж шостого. Або ж вони можуть визначати пріоритети більш складним чином - за аналогією з описаними нижче класами DiffServ.

Третій спосіб - завдання класу обслуговування за допомогою DiffServ Code Points (DSCP) / IP Type Of Service (ToS). Він реалізується на третьому рівні моделі OSI. Тип послуги (TypeOfService) задається бітами в заголовку IPv4-пакета, який інкапсулюється в кадр Ethernet. Для позначення типу послуги в заголовку виділено 8 біт, які за час існування IP-мереж пропонувалося використовувати по-різному. Але широке поширення отримав тільки останній варіант, в якому 6 біт віддано під визначення класу обслуговування, а 2 біта - під повідомлення про затор (Explicit Congestion Notification). Ці 6 бітів можуть бути використані для призначення 64 класів обслуговування. Вони визначають параметри передачі пакета по мережі з великою кількістю вузлів, де кожен вузол самостійно приймає рішення як обслуговувати трафік - так зване Per Hop Behavior (PHB).

На практиці зазвичай використовуються наступні основні класи:

- Default PHB - клас, який обирається за замовчуванням, як правило, це «найкраще з можливого»;
- Expedited Forwarding (EF) PHB - визначає пріоритетні характеристики для послуг, чутливих до затримки, втрат, джиттеру, таких як голос, відео і т.д.;
- Assured Forwarding (AF) - передача гарантується, якщо трафік не перевищує заданої

швидкості. Ця група розрізняються за пріоритетом забезпечення передачі в умовах, коли починається затор. Пріоритет пакетів між класами визначається у вигляді частки смуги, що віддається кожному класу, яка вираховується за обраним алгоритмом. Усередині кожного класу також виділяються пакети з низьким, середнім і високим пріоритетом передачі;

- Class Selector PHBs - цей клас введений для забезпечення сумісності зі старими системами, в яких пріоритезація пакетів була реалізована прямим шляхом. У цьому випадку два біта позначають клас, а три - віддаються для позначення пріоритету пакета.

Передача кадрів. Передача кадрів проводиться між UNI, з'єднаними загальним EVC. Кадри можуть переносити дані користувачів або службову інформацію. Передача проводиться в одному з чотирьох режимів.

Перший режим - Unicast, одноадресна передача («точка-точка»). Режим визначається по MAC-адресі точки призначення.

Другий режим - Multicast, багатоадресна передача («багатоточка-багатоточка»). Здається MAC-адресою призначення, в діапазоні від 01-00-5E-00-00-00 до 01-00-5E-7F-FF-FF.

Третій режим - Broadcast, ширококомвна передача. Здається вибором адреси призначення FF-FF-FF-FF-FF-FF.

У будь-якому їх перерахованих режимів в рамках кожної Ethernet-послуги для кожної пари UNI, які обмінюється інформацією, визначені умови обміну та відмови від прийому. Так існують поняття, умовного прийому (тобто залежність від якогось умови) і безумовного прийому.

Четвертий режим використовується для передачі службових даних, що створюються різними протоколами, які регулюють роботу мережі. Вони можуть бути адресовані як певним UNI, так і всім елементам мережі, задіяним в обслуговування EVC.

Нижче наведені приклади MAC-адрес, які вказують на їх службове зміст:

- 01-80-C2-00-00-00 - керуючі повідомлення STP (Spanning Tree Protocol);
- 01-80-C2-00-00-01 - керуючі повідомлення MAC-протоколів IEEE 802.3x;
- 01-80-C2-00-00-02 - повідомлення від LACP (Link Aggregation Control Protocol). Це протокол, що зв'язує кілька фізичних портів в один логічний з метою створити канал з більш високою пропускну здатністю;
- 01-80-C2-00-00-03 - аутентифікація порту за протоколом IEEE 802.1x;
- 01-80-C2-00-00-2X – Generic Attribute Registration (GARP). Протокол, за допомогою якого здійснюється привласнення певних значень різних атрибутів елементів мережі. Наприклад, присвоюються номери VLAN.

Залежно від послуги оператор може задати прийом або відмову від прийому службових кадрів певного типу для кожного UNI або ж сконфігурувати їх передачу або відмову від передачі по EVC. У загальному випадку обидва види послуг (E-LAN і E-Line) можуть підтримувати всі види адресації.

Підтримка VLAN. VLAN (Virtual LAN) - це спосіб створення віртуальної локальної мережі, яка об'єднує вибраний набір кінцевих пристроїв мережі, не обов'язково розташованих в одному сегменті локальної мережі. Така віртуальна мережа організовується програмним чином, її переконфігурування не вимагає фізичних переключень і переміщень. Цей механізм дозволяє створювати кілька незалежних локальних мереж на базі загальної фізичної мережі. Атрибут, що характеризує роботу з VLAN, передбачає можливість посилок кадрів з тегами 802.1Q або ж без тегів. В рамках цього атрибута також визначається порядок обробки кадрів з тегами і чи повинен ідентифікатор VLAN використовуватися для визначення маршруту пересилки кадрів.

UNI, об'єднані одним EVC, можуть працювати з тегами VLAN по різному, деякі працюють тільки з кадрами без тегів, інші - тільки з кадрами з тегами, а треті - і з тими, і з іншими.

Якщо теги, сформовані UNI, підтримуються в рамках даної послуги, то користувач також повинен знати, які при цьому маніпуляції з ними проводяться, чи зберігаються вони незмінними, відкидаються або, навпаки, прикріплюються. Форум передбачає підтримку стека VLAN Q-in-Q, а також ієрархічну MAC-адресацію - MAC-in-MAC.

Для CE-VLAN (абонентських VLAN в ієрархічній системі) передбачені дві характеристики: збереження/не збереження ідентифікатора CE-VLAN і збереження/не збереження поля 802.1p з інформацією про клас обслуговування. Тобто інформація про збереження двох складових тегу VLAN. Частина UNI може підтримувати теги, а частина - ні. Перед доставкою до UNI кадр повинен за допомогою таблиць відповідності бути приведений до виду, зрозумілому цьому UNI.

Мультиплексування послуг. Під мультиплексуванням послуг розуміється підтримка одним UNI декількох EVC. Тобто можливість отримувати послуги від різних фізичних мережевих пристроїв, в тому числі від різних провайдерів (рис. 4). Зрозуміло, в цьому випадку UNI-A повинен мати ширшу транспортну смугу, ніж інші, але йому не потрібно декількох фізичних інтерфейсів. Такий підхід знижує капітальні та експлуатаційні витрати.

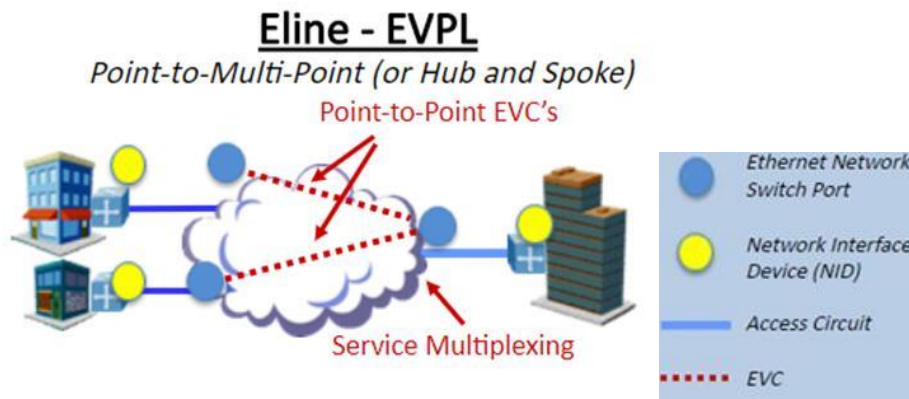


Рис. 4. Мультиплексуванням послуг

Зв'язка послуг. Зв'язка послуг дозволяє двом або більше абонентським VLAN належати в UNI до одного EVC. Тобто через канал, що з'єднує два (або більше) фізичних портів, може передаватися два або більше VLAN. Конкретна схема зв'язків між UNI і EVC визначається домовленістю між кінцевим користувачем і провайдерами послуг. Зв'язка «все в одному» передбачає об'єднання всіх VLAN, що відносяться до UNI в одному EVC.

Фільтри безпеки. Провайдери послуг можуть надавати своїм абонентам можливість задавати додаткову фільтрацію трафіку для забезпечення їх безпеки. Наприклад, у вигляді списку MAC-адрес тих джерел, яким дозволений доступ до UNI абонента. Доступ до UNI від інших джерел в цьому випадку повинен припинятися.

Способи визначення належності до VLAN. Завдання, які вирішуються за допомогою VLAN. До епохи комутованого Ethernet VLAN використовувалися для зменшення кількості колізій, але тепер ця задача вже не актуальна. Проте, можливість конфігурувати віртуальну мережу, в яку включена тільки частина обладнання користувачів і мережевих пристроїв, корисна і в багатьох інших випадках. Зокрема, вона дозволяє розділити різні види трафіку по різних VLAN, які мають різний пріоритет або ж клас обслуговування.

Крім того, VLAN є певною мірою захисту трафіку від перехоплення. Зокрема, використання VLAN захищає трафік від атак MAC flooding. Тому цінний трафік відправляється клієнтам через їх індивідуальні VLAN або через кілька VLAN, яким присвоюються різні пріоритети в залежності від переданих послуг. Вони також дозволяють обмежувати доступ до мережевих ресурсів і послуг, тобто управляти цим доступом. Таким чином, VLAN - це зручний механізм адміністрування мережі, що не вимагає її фізичної модифікації.

По-перше, слід зазначити, що теги, що вказують на приналежність до VLAN, вводяться в комутаторах, а не в абонентських пристроях. Існує два принципи призначення VLAN - статичний і динамічний.

У першому випадку VLAN закріплюється за певним фізичним портом комутатора, і весь трафік, що потрапляє на порт, автоматично тегується як належний до даної VLAN. Цей спосіб дуже простий і може бути реалізований або вручну, оператором, або жорстко, на апаратному рівні. Мінусом такого підходу є недолік гнучкості і, зокрема, неможливість підтримувати кілька VLAN на одному порту.

Динамічний спосіб передбачає позначення належності до VLAN за інформацією, що міститься у вхідному пакеті. Один з варіантів присвоєння ідентифікатора VLAN - по MAC-адресі. Можливо також призначення з використанням інформації, що передається у кадрі протоколами 3-4 рівня. І, нарешті, розміщення даних у VLAN може проводитися на підставі даних аутентифікації користувача або абонентського пристрою.

Формування шляхів передачі для VLAN. Шлях проходження VLAN через мережеві пристрої може бути налаштований вручну або за допомогою спеціальних протоколів - GVRP (GARP VLAN Registration Protocol) або схожим з ним VTP (VLAN Trunking Protocol) - корпоративна розробка Cisco. Транком (trunk) називається фізичний канал, по якому передається кілька різних VLAN, вірніше, кадри з відповідними тегами.

Формування тегів VLAN. Загальноживаним для формування тегів VLAN сьогодні є формат IEEE 802.1Q. До появи цього стандарту для позначення VLAN використовувалися корпоративні формати, запропоновані Cisco (ISL, Inter Switch Link) і 3COM.

Введення тегів здійснюють комутатори, які отримують пакети від кінцевого пристрою мережі. Комутація пакетів здійснюється тільки в межах VLAN, до яких вони належать. Обмін кадрами між різними VLAN реалізують маршрутизатори або комутатори третього рівня. Схема введення тегів відповідно до IEEE 802.1 Q показана на рис. 5.

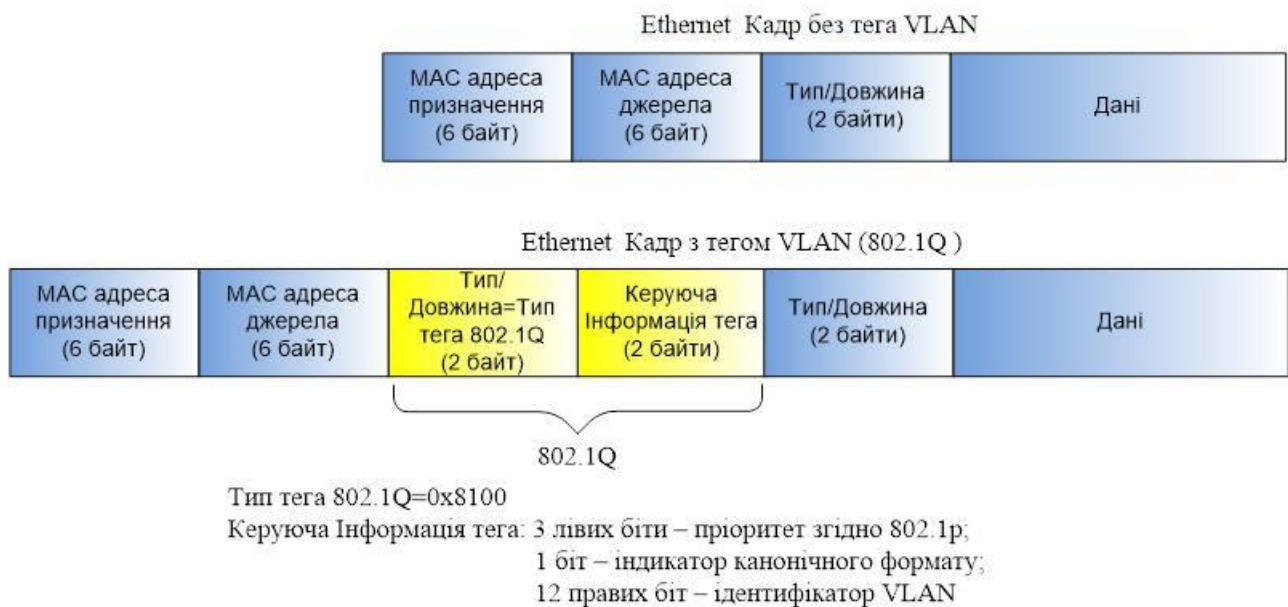


Рис. 5. Схема введення VLAN

Тег вводиться між адресою призначення і полем типу кадру. Він включає двобайтне поле типу тегу і в два байта керуючої інформації. В полі типу вводиться значення 0x8100, яке вказує на наявність тегу в форматі 802.1Q. Три лівих біта самого тегу відведені для вказівки пріоритету відповідно до стандарту 802.1p. Вони дозволяють створювати до 8 класів обслуговування. 12 правих біт вказують ідентифікатор VLAN, за допомогою яких можна ідентифікувати до 4096 VLAN.

У великих Carrier Metro Ethernet мережах часто з'являються потреба поділити потоки між групами абонентів (чи послугами) і окремими абонентами (чи послугами). Існує два способи вирішення цього завдання. Один, регламентований стандартом IEEE 802.1ad (часто званий Q-in-Q або Provider Bridges), передбачає створення стека VLAN (рис. 6). Тобто ієрархічне призначення пакету двох тегів VLAN. В цьому випадку всередині великої VLAN створюються більш дрібні VLAN, які сегментують вихідну. Використання Q-in-Q дозволяє, в деякому сенсі, подолати обмеження на максимальну кількість VLAN в великих Carrier Metro Ethernet мережах.

Цей метод має певні обмеження. По-перше, він підтримується не всім обладнанням. По-друге, ієрархічна система VLAN повинна бути узгоджена з роботою протоколу STP, що робить їх конфігурацію в великомасштабних мережах досить складною. По-третє, незважаючи на введення двоярусних (і більше) VLAN, MAC-адреси в обох ярусах використовуються одні й ті ж. Тому не виходить отримати повне розмежування «магістральної» мережі, по якій послуга доставляється, і мережі доступу, по якій вона доходить до кінцевих користувачів.



Рис. 6. Схема введення Q-in-Q

Для усунення двох останніх обмежень був розроблений стандарт IEEE 802.1ah, відомий також як MAC-in-MAC або Provider Backbone Bridges, що передбачає повне розділення заголовків. В цьому випадку використовуються не тільки два яруси VLAN, але також і дві пари MAC-адрес: кінцевих користувачів (джерело і точка призначення) і магістральна пара. Магістральним пристроям заголовок з адресами кінцевих користувачів просто не видно. Такий підхід забезпечує більшу безпеку, тому що кожен ярус не має уявлення про систему адресації іншого ярусу. До того ж він спрощує адміністрування мережі, підвищує її стійкість до широкомовних штурмів і знижує вимоги до комутаторів.

Висновки

1. Мультисервісні мережі передачі даних операторського класу можуть будуватися на основі концепції MetroEthernet з розширенням до рівня Carrier Metro Ethernet.
2. Ethernet-кадри в мережах Carrier Metro Ethernet можуть передаватися через різні транспортні середовища (не обов'язково Ethernet), інкапсулюючись в «локальні» транспортні пакети, але якість їх передачі повинна відповідати заявленим.
3. Опис мереж Carrier Metro Ethernet можливий на базі моделі Ethernet-послуг. Послуги описуються набором атрибутів, кожен з яких, в свою чергу, характеризується набором параметрів, які можна визначити чисельно. Це дозволяє сформулювати набір вимог до каналу передачі даних, в формі, не залежною як від конкретного сервісу, так і від транспортного середовища, в якому організований канал її передачі.
4. За допомогою комбінування існуючих технологій можлива побудова надійних, масштабованих, захищених Ethernet мереж операторського класу з параметрами якості обслуговування спів розмірними з мережами комутації каналів.

Список використаної літератури

1. MEF 22 (MetroEthernetForumверсия 22) [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_22.1.pdf (15.02.2018).
2. MEF 33 (MetroEthernetForum. TechnicalSpecification MEF 33 Ethernet Access ServicesDefinitionJanuary 2012) [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_33.pdf (15.02.2018).
3. MEF 6.2 (EVC EthernetServicesDefinitionsPhase 3, August, 2014) 1541 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <https://www.mef.net/resources/technical-specifications/download?id=8&fileid=file1> (15.02.2018).
4. IEEE Std 802.3™-2015 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2015.zip> (15.02.2018).
5. IEEE 802.1Q-2014 - BridgesandBridged Networks3046 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1Q-2014.html> (15.02.2018).
6. Рекомендація МСЕ Y.1540 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11079&lang=ru> (15.02.2018).
7. Рекомендація МСЕ Y.1541 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11462&lang=ru> (15.02.2018).
8. 802.1ah - Provider Backbone Bridges [Електронний ресурс] // - Режим доступу: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ah.html> (15.02.2018).

Автори статті

Недашківський Олексій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Nedashkivskiy Oleksiy Leonidovych - candidate of science (technic), assistant professor, assistant professor of Department of Mobile and video information technologies, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію 20.01.2018

Рецензент: д.т.н., доцент В.Ф. Заїка